

煤矿安全综合指标评价法权重确定的新方法

刘海波¹, 施式亮²

(1. 湖南理工职业技术学院 资源工程系, 湖南 湘潭 411200; 2. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:为彻底解决现行煤矿安全综合指标评价方法中权重确定的主观随意性, 本文参照开采技术条件的定性评价方法, 运用升半正态分布函数确定煤矿各个自然危险源的危害程度及其在整个矿井灾害防治体系的重要度, 作为煤矿安全综合指标评价方法中的项目权重. 通过实例计算及对比分析证实该权重确定方法较好地解决了目前人为主观确定常值权重方法中必然存在的主观随意性和常值不变性, 该权重还能实时地反映矿山中各个危险源的自然状态. 为煤矿安全综合指标评价方法权重的确定提供了一种新方法.

关键词:安全技术及工程; 矿山安全; 安全评价; 权重

中图分类号:TD76 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2014)03-0034-04

A new method of determining weight of the coal mine safety comprehensive index evaluation method

LIU Haibo¹, SHI Shiliang²

(1. The Resources Engineering Department, Hunan Vocational Institute of Technology, Xiangtan 411200, China;

2. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to solve the issue, i. e. determining the weight of current coal mine safety comprehensive evaluation method in the subjective qualitative evaluation, this paper, according to the mining conditions, uses the rise of half normal distribution function to determine the extent of damage of each natural hazard in coal mines and the mine disaster prevention system, as the project weight of the coal mine safety comprehensive index evaluation method. Through calculation and comparative analysis, this paper confirms that the weight determination method can solve the current subjective arbitrariness and constant invariability when determining constant weight method. The weight can reflect the various dangerous source of the mines in the state of nature in a real time way. Thus, it provides a new method to determine the weight of the coal mine safety comprehensive index evaluation method.

Key words: safety technology and engineering; mine safety; safety assessment; index weight

近年来在我国煤炭行业广泛开展的安全评价均采用综合指标评价方法, 该方法由若干单级或多级指标并配置相应的权重构成评价体系. 如江西省设10个^[1]、湖南省设5个^[2]一级评价指标及若干二级甚至三级指标及其相应的权重构成整个评价

体系.

指标及其相应的权重所构成的评价体系拟合了矿井灾害防治体系, 在效地简化了矿井灾害结构, 使得评价简单易行, 但“可信度差”^[3]. 可信度的提高, 关键在于构建符合于灾害系统的评价体

系,确定好合理的权重.但目前,权值的确定还是采用人为主观确定,很难适合于复杂多变的灾害系统.

如江西省在煤矿安全评价时,评价体系由10个一级指标组成,一级指标再划分为若干个二级甚至三级指标.10个一级指标分别为(1)矿山开采自然条件;(2)安全管理;(3)通风;(4)瓦斯;(5)防治水;(6)防灭火;(7)开采及顶板管理;(8)爆破;(9)机电运输;(10)劳动保护.一级指标的相应权值则是人为主观确定的常数,分别为0.12,0.15,0.15,0.15,0.10,0.05,0.10,0.05,0.10,0.03^[1].

人为主观确定的权重具有主观随意性和常值不变性,很难体现复杂多变的矿山安全状态.为了降低这类权重的随意性,许多方法如数理统计、灰色统计、聚类分析、层次分析法甚至人工神经网络评价法^[4-6]等被推荐来分析权重组合.为了改变这类权重的常值性,目前采用的简便方法有最低分法^[1,2]、还可采用复杂的变权函数法^[7]等.这些研究较好地避免了专家们的随意性,也一定程度地改善这类权重的常值不变性,但都无法从根本上消除其主观经验性.

《安全系统工程理论与应用》一书中,沈斐敏教授采用“单项目的区域性的百万吨死亡率作为权值”^[3].“百万吨死亡率”不再是人为主观经验确定的,也间接地反映了危险源的危害程度;但它更主要的是体现了整个“百万吨死亡率”统计区域内全体矿山的平均安全程度以及防灾水平的综合结果,很难直接反映危险源的具体变化.

本文基于煤矿开采技术条件的定性评价方法,采用模糊分布函数技术,提出了对矿山自然危害源危险程度直接进行定量评价的权值计算方法,从而获得能直接反映矿山各个危险源的危害程度的权重.

1 评价指标的选取

矿井危险源众多,其防治应该主次分明.危险程度越高,越值得加强防治;针对该危险源的防治体系在整个矿井防灾体系中的地位也就越高.如果选择一个能体现某个危险源危险程度的指标作为权重,然后把针对该危险源的防治体系作为评价项目构成评价体系;则该权重既能反映该危险源的危

险程度,还能体现该危险源的防治难度,更能体现针对该危险源的防治体系的价值,自然成了该评价项目的权重.

体现某个危险源危险程度的指标可以有多种,如反映瓦斯灾害危险程度的指标有瓦斯浓度、瓦斯涌出量、瓦斯含量等;但它们在灾害防治体系内所处的层次是不同的.瓦斯含量是最底层的指标,也是反映矿井瓦斯灾害程度的最原始指标,因为它几乎没有受到任何“人的行为”^[8]的影响.瓦斯涌出量所处层次稍高,它包含了井下人员的呼吸、爆破炮烟、围岩涌出瓦斯等.而瓦斯浓度是更高层次的指标,它甚至还包括矿井空间、井下供风量、原煤生产量、开拓速度、瓦斯抽采等一切可能引起瓦斯浓度变化的“人的行为”.

应该说能选做权重的指标可以是最底层的,也可以是高层次的.高层次的指标隐含有已经采取的防治措施等“人的行为”,其相应的评价项目中就应该将这些“人的行为”剔除在外;否则就造成了评价项目和指标权重的重叠混乱.如瓦斯浓度就是采取各种防治瓦斯、甚至预抽排瓦斯等防治措施后的一个综合指标,它实际上包含了全部引起瓦斯浓度变化的“人的行为”.因此,以它作为指标权重的相应评价项目就不应包含引起瓦斯浓度变化的“人的行为”.

而现行评价体系中,一级评价项目囊括某个危险源的整个防治体系,包括防治该危险源的全体防治措施或全部“人的行为”;因此,一级项目的权重就应该选择那些剔除了“人的行为”的最底层的指标.比如防治瓦斯灾害的一级项目包括了全部的瓦斯灾害防治措施,选作一级项目的权重的指标当然应该是最底层的指标,即瓦斯含量.

基于以上分析,本文提出了一些在煤矿安全评价中常见的一级权值的计算指标(表1).

表1 可用于权重计算的一级指标

评价项目	权重计算的指标
瓦斯危害性	瓦斯含量(m^3/t)
内因火灾易发性	常温常压下煤的吸氧量(V_a)
煤尘爆炸危险性	煤尘爆炸试验中的火焰长度(Y, mm)
煤与瓦斯突出危险性	突出危险性综合判断指标(K)值
突水易发性	受采掘破坏的含水层的最大单位涌水量(q)
煤层及其顶底板自稳性	岩(煤)体强度应力比

2 权值的确定

瓦斯含量指煤体在原始状态下(揭穿、开采以前)所含瓦斯量,是一个未受“人的行为”干扰的指标。

显然,瓦斯含量越高,矿井瓦斯危险程度就越大,瓦斯灾害防治工作越难,它在整个矿井灾害防治体系中的重要度(权值)也就越高。作为煤矿开采技术条件的定性评价,我国早期的矿井瓦斯等级划定标准:相对瓦斯涌出量小于 $5\text{ m}^3/\text{t}$ 时,为一级瓦斯矿井; $5\sim 10\text{ m}^3/\text{t}$ 时为二级瓦斯矿井; $10\sim 15\text{ m}^3/\text{t}$ 时为三级瓦斯矿井;大于 $15\text{ m}^3/\text{t}$ 时,为超级瓦斯矿井。最新《煤矿安全规程》则以相对瓦斯涌出量 $10\text{ m}^3/\text{t}$ 作为高瓦斯矿井的底界值。

瓦斯含量很小,如小于 $5\text{ m}^3/\text{t}$ 时,开采过程中所涌出的瓦斯量不大,矿井瓦斯灾害防治系统很容易消耗,其变化对矿井瓦斯灾害程度的影响不大;当其含量很大,如大于 $15\text{ m}^3/\text{t}$ 时,矿井瓦斯灾害程度已经很高了,瓦斯含量大小的改变对整个矿井瓦斯灾害程度的影响已经不大。因此,瓦斯含量这种指标的低值和高值区段的变化对矿井瓦斯灾害程度的影响都不大,而中值段的变化可迅速改变瓦斯灾害程度。适合描述这种关系的分布函数有升半正态、升半柯西分布函数。本文采用升半正态分布函数形式构建了权重值计算公式如下。

$$\mu_{\text{ww}}(W_y) = \begin{cases} 0, & W_y \leq a; \\ 1 - e^{-k(W_y-a)^n}, & W_y > a. \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\mu_{\text{ww}}(W_y)$:矿井瓦斯灾害防治体系的权重值; W_y :瓦斯含量(m^3/t); K, α, n :待定系数。

将 $W_y = 5$ 时, $\mu_{\text{ww}}(W_y) = 0.1$; $W_y = 10$ 时, $\mu_{\text{ww}}(W_y) = 0.5$; $W_y = 15$ 时, $\mu_{\text{ww}}(W_y) = 0.9$ 代入式(1),可求得该式中的3个未知参数分别为

$$k = 1.7811e^{-4}; n = 3.36524; \alpha = -1.66373.$$

将上述3个未知参数的值代入式(1),可得矿井瓦斯灾害防治体系的权重值计算公式:

$$\mu_{\text{ww}}(W_y) = \begin{cases} 0, & W_y \leq 0 \text{ 时;} \\ 1 - e^{-0.00017811(W_y+1.66373)^{3.36524}}, & W_y > 0 \text{ 时.} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)将瓦斯含量这个指标规范量化为煤矿瓦斯灾害体系的权重值,体现了某矿瓦斯灾害的严重程度,也反映了瓦斯灾害防治体系在整个矿井灾

害防治体系中的地位及价值。

当瓦斯含量等于0时,矿井的瓦斯危害严重程度值等于0。当瓦斯含量在 $0\sim 5$ 之间时,矿井瓦斯危害程度较低且随着瓦斯含量的增加而缓慢增加,也表明瓦斯灾害防治体系在整个矿井灾害防治体系中的地位较低并呈逐渐增高的趋势。当瓦斯含量在 $5\sim 15$ 之间时,矿井瓦斯危害程度随瓦斯含量的增高而迅速增高,瓦斯灾害防治体系在整个矿井灾害防治体系中的地位也迅速增高。当瓦斯含量增至15时,权值已达0.9,表明瓦斯危害程度已接近于非常严重的程度。因此,该模糊分布函数比较好地反映了矿井瓦斯危害严重程度,也很好吻合了现行的、对矿井瓦斯含量的定性分类标准。

如果将矿井所有危险源的危险程度作为权重,相应的防治体系作为评价体系,即可形成完整的矿井综合指标评价法。此时,权重反映了各个灾害源在整个矿井灾害体系的重要性,更体现了相应防治体系的价值(权重)。

3 应用实例

江西萍乡某煤矿的瓦斯含量为 $4.34\text{ m}^3/\text{t}$,将其代入式(2),可求得该矿瓦斯灾害防治体系的权重值 $\mu_{\text{瓦}} = 0.07$ 。

类似地,可建立表1各个评价项目的权重计算公式^[8]。

内因火灾防治体系的权重计算公式:

$$\mu_{\text{火}} = 1 - e^{-0.58423(V_d-0.403337)^{1.8525}}$$

煤尘爆炸防治体系的权重计算公式:

$$\mu_{\text{尘}} = 1 - e^{-0.33625(Y+0.014)^{1.74386}}$$

煤与瓦斯突出防治体系的权重计算公式:

$$\mu_{\text{突}} = 1 - e^{-0.0561(K-13.2537)^{1.1303}}$$

矿井水害防治体系的权重计算公式:

$$\mu_{\text{水}} = 1 - e^{-0.1406(q+0.7993)^{2.7164}}$$

顶底灾害防治体系的权重计算公式:

$$\mu_{\text{顶}} = 1 - e^{-1.9784(S_m-0.333364)^{0.29707}}$$

将上述江西萍乡某煤矿有关技术参数:常温常压下煤的吸氧量 $V_d = 0.67\text{ mL/g}$;煤尘爆炸试验中的火焰长度 $L = 0\text{ mm}$;突出危险性综合判断指标值 $K = \Delta p/f = 5.4$;受采掘破坏的含水层的最大单位涌水量 $q = 0.127\text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$;岩(煤)体强度应力比 $S_m = 1.7$ 代入上述各公式,可求各评价项目的权重

值,将其归一化后可得整个矿井的灾害防治体系的一级项目权重值如表2.

表2 用于权重计算的一级指标

一级评价项目权重	权重值	归一化后的权重值
$\mu_{瓦}$	0.07	0.06
$\mu_{火}$	0.05	0.04
$\mu_{尘}$	0.00	0.00
$\mu_{突}$	0.00	0.00
$\mu_{水}$	0.11	0.10
$\mu_{顶}$	0.89	0.80

4 结论

1)可以选用表征危险源危害程度的某个指标,参照定性评价标准,利用升半正态分布函数计算权重.

2)指标表明了危险源的危害程度.其横向比值表明各个危险源在整个矿井灾害体系中的危害比重,体现了针对该危险源的防治工作在整个矿井灾害防治体系中的权重.

3)指标的选用避免了主观性,权重的计算避免了随意性.

4)指标选用时应避免指标包涵灾害防治体系内所含有的项目,防止指标权重计算和项目评价内容的重叠.因此,需要进一步研究指标选用方法,特别是二级甚至三级指标的选用方法,甚至从理论上

研究指标选用原理.

参考文献:

- [1] 江西省煤炭工业科学研究所煤矿安全评价中心. 江西省市县国有和乡镇煤矿安全程度评估检查表[R]. 2012.
- [2] 湖南省煤炭科学研究所煤矿安全评估评价中心. 煤矿安全程度评估打分表[R]. 2012.
- [3] 沈斐敏. 安全系统工程理论与应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,2001.
- [4] 蔡佳,罗继勋,旷艾喜,等. 基于变权模糊综合评判的目标威胁评估算法[J]. 电光与控制,2009,16(12): 80-84.
- [5] 李江. 煤矿安全评价指标体系权重的确定方法[J]. 安全,2009(8):6-9.
- [6] Shi S L, Liu H B, Liu A H. Analysis on evaluation ability of nonlinear safety assessment model of coal mines based on artificial neural network[J]. Journal of Coal Science & Engineering(China),2004(2):55-59.
- [7] 梅绍组. 模糊控制与变权的确定[J]. 系统工程理论与实践,1996(5):59-63.
- [8] 刘海波. 自然权重原理及其在煤矿安全评价中的应用[D]. 长沙:中南大学,2006.